

# Сжатие видео

## H.264

**Дмитрий Ватолин**

*Московский Государственный Университет  
CS MSU Graphics&Media Lab*

# Структура материала



- ◆ Введение
- ◆ Компенсация движения
- ◆ Преобразование
- ◆ Квантование
- ◆ Фильтрация
- ◆ Перестановка
- ◆ Entropy coding
- ◆ NAL

# Эволюция стандартов



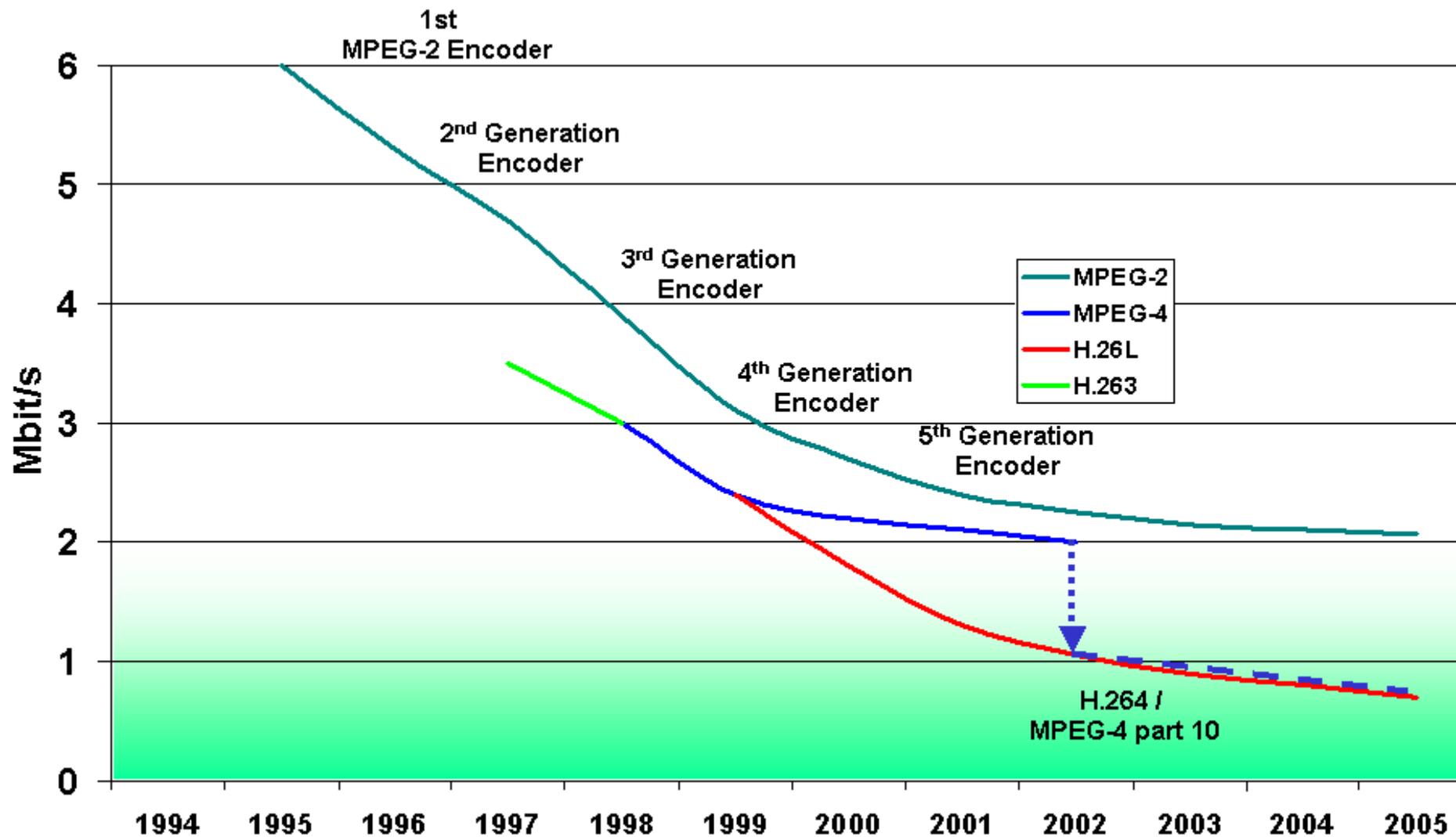
Стан-т	Год	Пр-тель	Что нового
H.261	1993	ITU-T	16/16 целочисленная компенсация движения 8×8 DPCM/DCT, преобразование, VLE кодирование
MPEG-1	1993	ISO/IEC	Bi-предсказание, half- компенсация движения
MPEG-2	1997	ISO/IEC ITU-T	Выбор качества, Profiles и Levels, Interlaced video
H.263	1998	ITU-T	Поддерживает передачу данных ниже 30 кбит/сек, цепи и сети с пакетной коммуникаций P-slice могут включать I-блоки
H.263+, H.263++ H.26L	2001 2001 2002	ITU-T	1) Поддерживает все скорости передачи информации в битах, большее количество опций 2) Акцент на погрешностях 3) Long-term и дальнейшее развитие до H.264
MPEG-4	1998	ISO/IEC	
H.264	2003	ISO/IEC ITU-T	10-ая часть MPEG-4, см далее

# Список сокращений



MPEG-	Moving Picture Experts Group
ISO -	International Standards Organisation
VCEG -	Video Coding Experts Group
IEC-	International Electrotechnical Commission
ITU -	International Telecommunications Union

# Эволюция стандартов



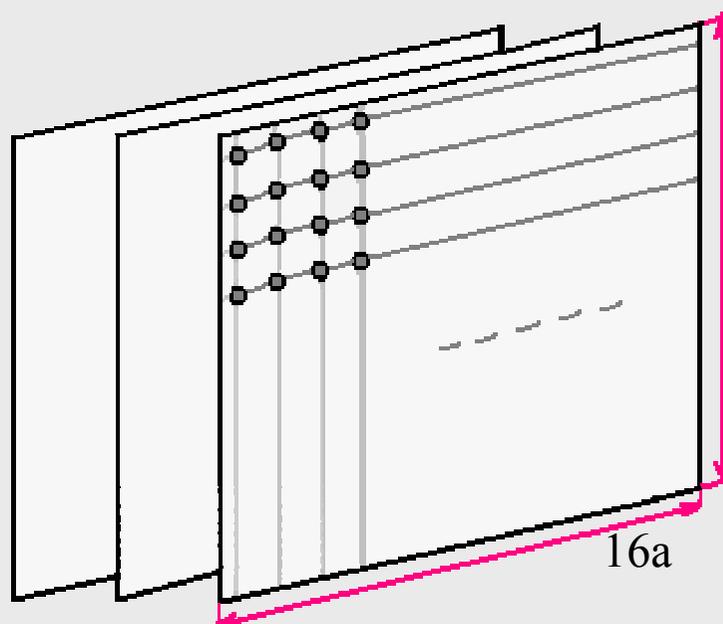
# Новое в H.264



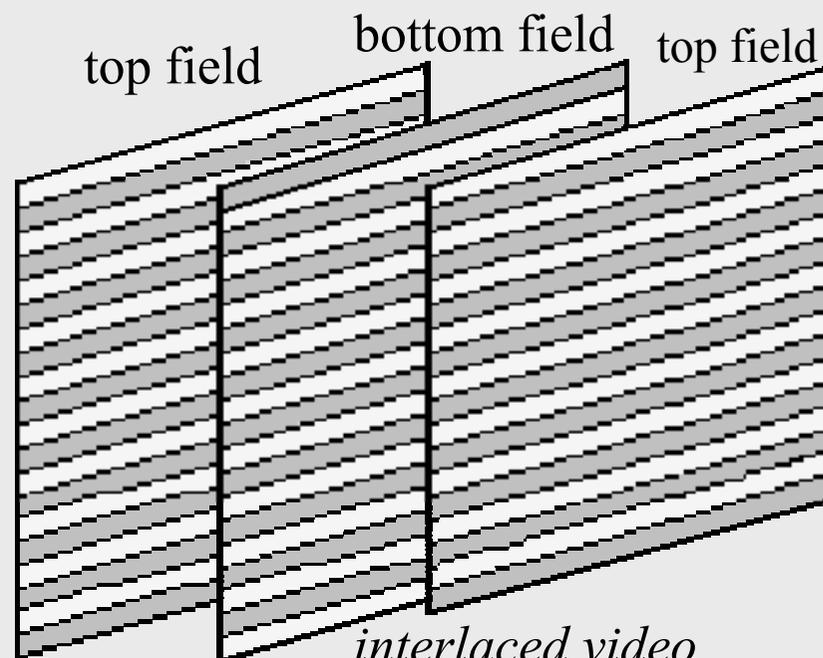
- ◆ Многорежимная компенсация движения
- ◆ 1/4-, 1/8-компенсация движения
- ◆ В-предсказание
- ◆ Целочисленное преобразование над блоками 4×4
- ◆ Многорежимное intra-предсказание
- ◆ Deblocking-фильтр
- ◆ Entropy-кодирование
- ◆ NAL (Network Abstraction Layer)
- ◆ SP, SI -slice

# H.264 /

## используемые форматы видео



*progressive video*



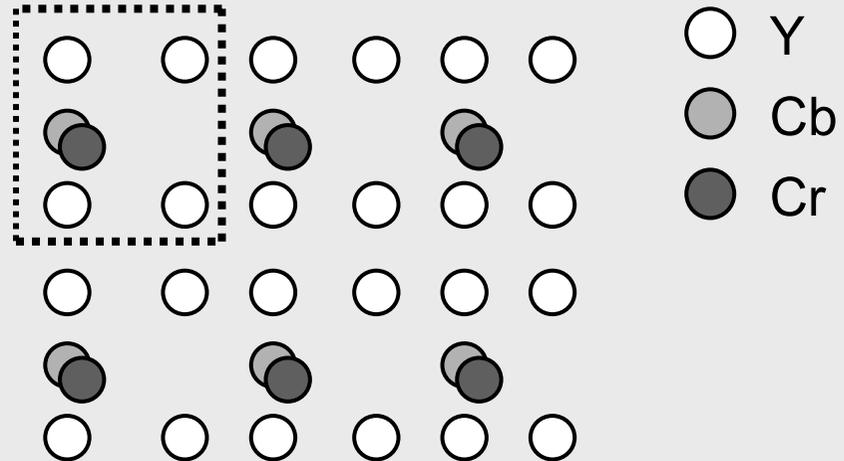
*interlaced video*

- ◆ Кодироваться отдельные изображения (фреймы)
- ◆ H.264 поддерживает progressive и interlaced форматы видео
- ◆ Размер изображений должен быть кратен 16 по обоим измерениям

# Н.264 / формат изображения



Изображение  
представлено в  
формате  
YCbCr 4:2:0



$$Y=0.299R+0.587G+0.115B$$

$$Cb=0.564(B-Y)$$

$$Cr=0.713(R-Y)$$

Изображение разбивается на так называемые макроблоки размера 16 x 16 по яркостной компоненте и, соответственно, размера 8x8 для цветových компонент

# H.264/ Термины

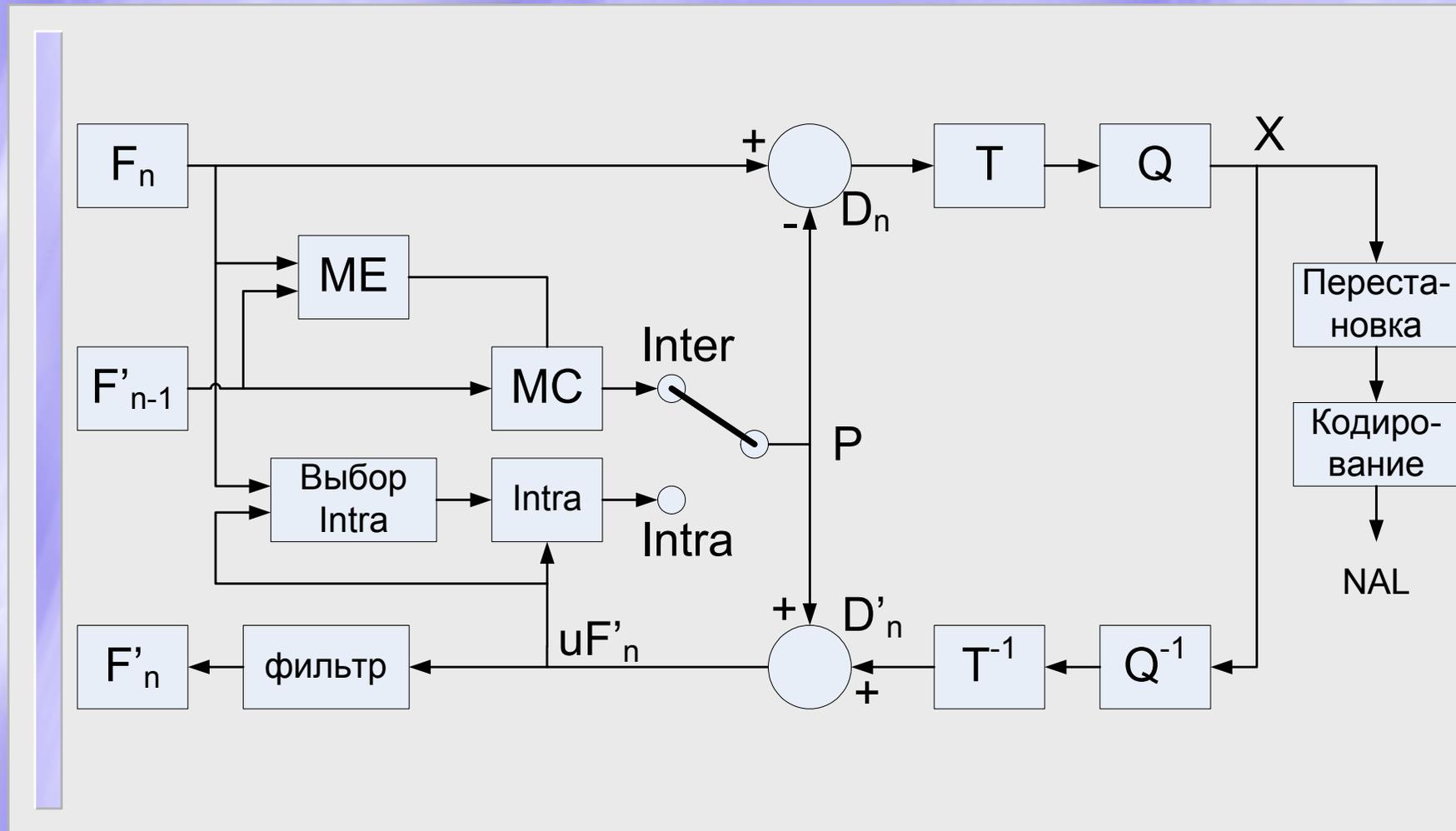


**Макроблок *A* предсказывается макроблоком *B*, если из всевозможных макроблоков из предшествующих фреймов, разница между блоками *B* и *A* минимальна. Эта разница называется компенсацией движения (motion compensation)**

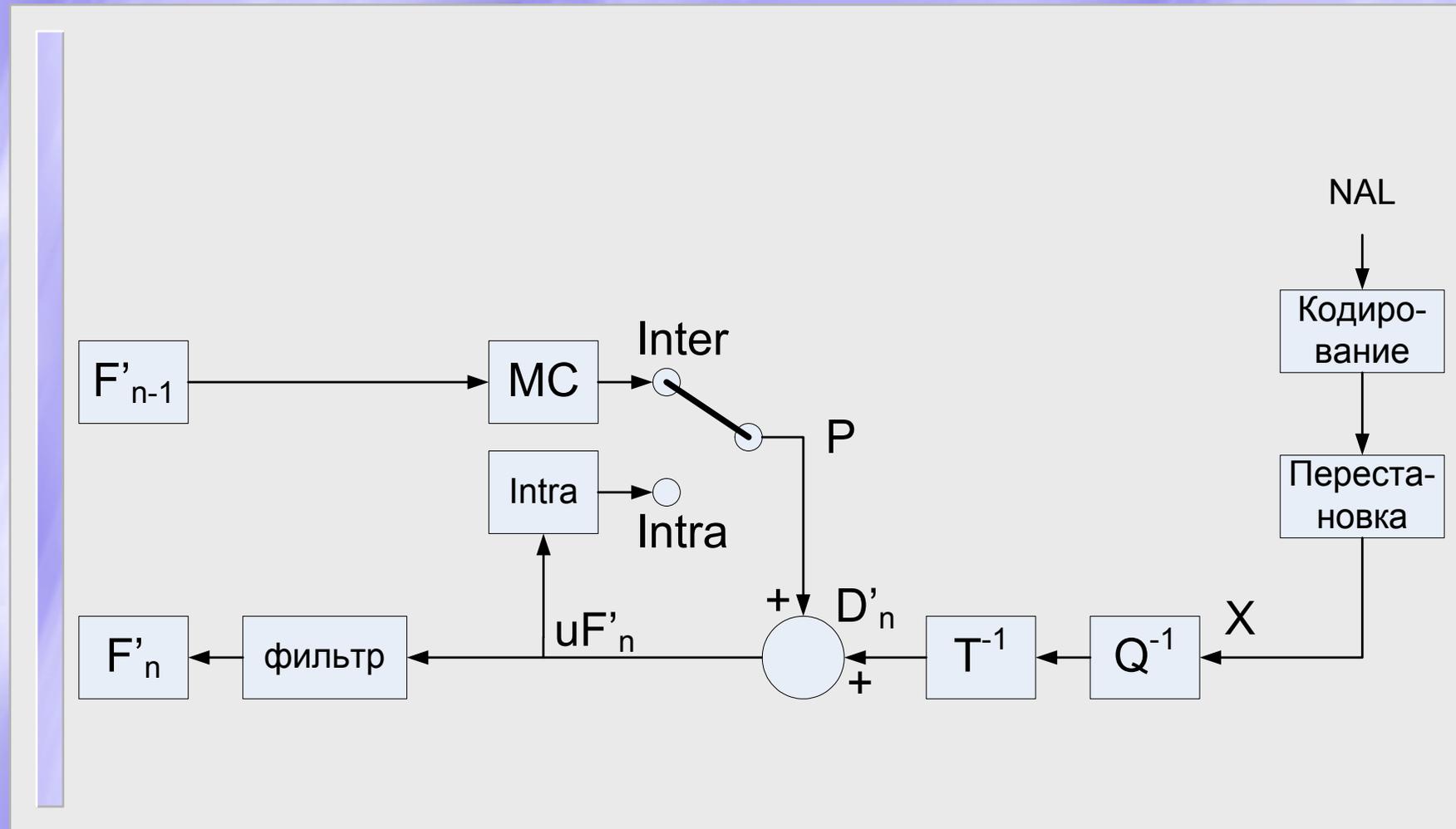
***Intra* – кодирование – кодирование без использования компенсации движения**

***Inter* – кодирование – кодируется с использованием компенсации движения**

# H.264 Кодирование



# H.264 Декодирование



# H.264 /

## Кодирование-декодирование



$F_n$  - текущий фрейм, множество макроблоков, каждый из которых кодируется в intra или inter режимах

$P$  - предсказание

$uF'_n$  - восстановленный, но без фильтра, текущий фрейм

$F'_{n-1}$  - один или два ранее закодированных фрейма

$D_n$  - разница между блоком и его предсказанием

# H.264 /

## Кодирование-декодирование



ME - motion estimate, поиск наиболее подходящего предсказания

MC - motion compensation, компенсация движения (вычисление векторов движения)

T - transformation, преобразование

Q - квантование

Entropy Coding – непосредственно кодирование

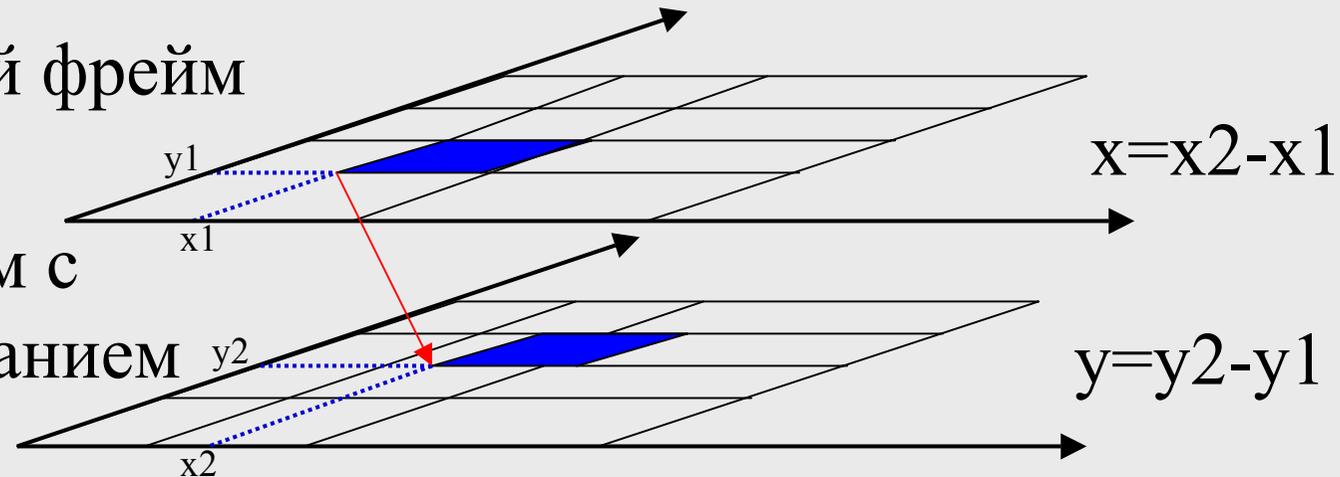
NAL - Network Abstraction Layer, формат для передачи по различным каналам

# Компенсация движения / Inter-блоки



Текущий фрейм

Фрейм с  
предсказанием



При кодировании *inter*-(макро)блока возникают вектора движений

Если вектор движения по яркостной компоненте Y равен  $(x, y)$ , то соответствующий вектор по Cr и Cb будет равен  $(x/2, y/2)$

# Компенсация движения / Slices



Каждый фрейм представляется как одна плоскость (slice) или несколько видеоплоскостей.

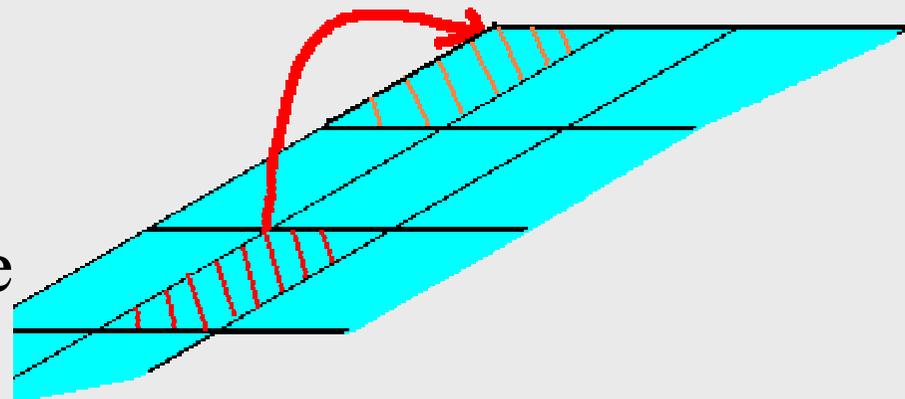
Типы slice: I, P, B, SP, SI

# Компенсация движения / I-slice



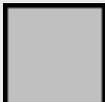
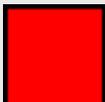
I-slice – плоскость, состоящая исключительно из intra-макроблоков (первый фрейм всегда является I-slice)

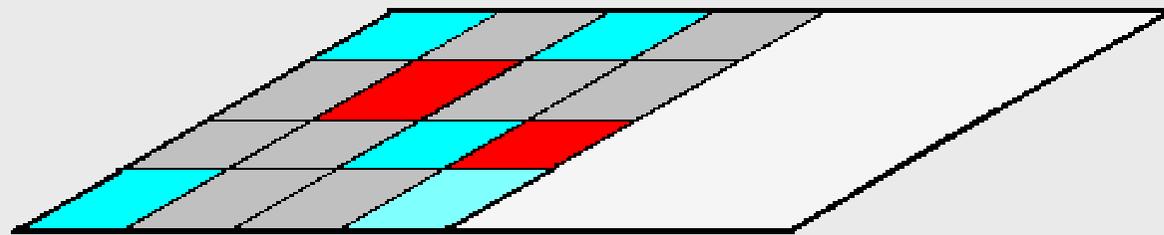
Макроблоки могут ссылаться только на уже закодированные макроблоки из той же slice



# Компенсация движения / P-slice



-  intra
-  inter
-  Skipped



Для пропускаемых  
макроблоков посылается  
только сигнал о том, что он  
пропускаемый и больше  
никаких данных

# Компенсация движения / Разбиение макроблока



# Компенсация движения / SP and SI slices



Основная идея: SP (switching P) и SI (switching I) slices – это кодирование **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ** кадров, дающих **В ТОЧНОСТИ** такой же результат, как и основные кадры в потоке.

# Компенсация движения / SP and SI slices



## **SP (switching P) и SI (switching I) slices**

**МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ДЛЯ:**

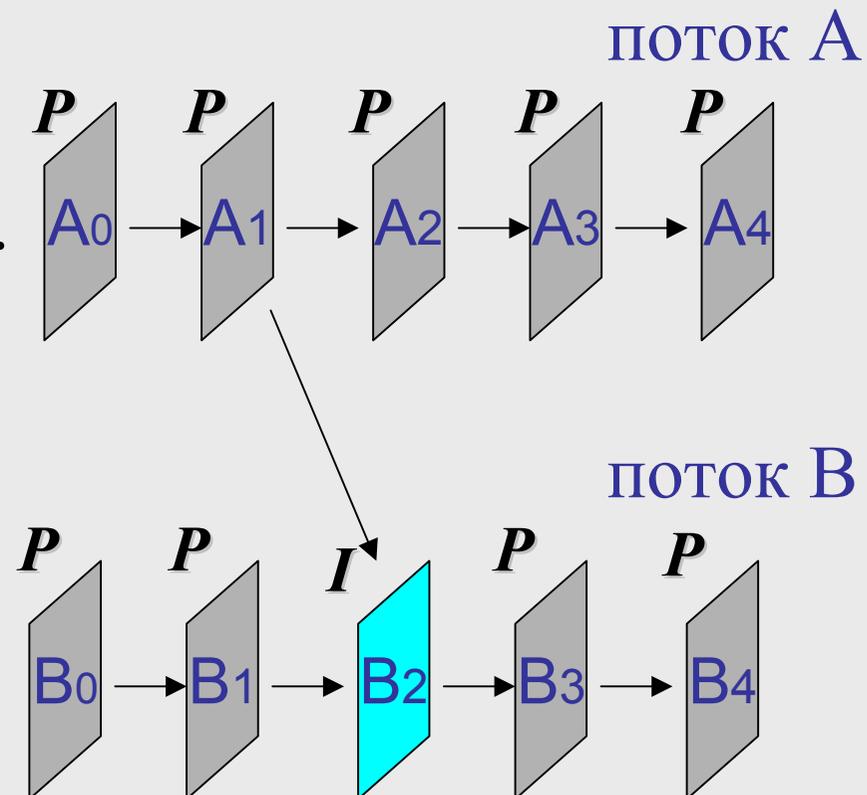
- ◆ обеспечения устойчивости к ошибкам
- ◆ для переключения между различными потоками (когда передается, например, стереопоток)
- ◆ для fast forward.

# Компенсация движения / SP-slice



## Использование SP/SI-slices для переключения между потоками:

В стандартах до H.264 возникала “switch point”. При этом образуется I-slice что приводит к увеличению числа данных в каждой такой точке

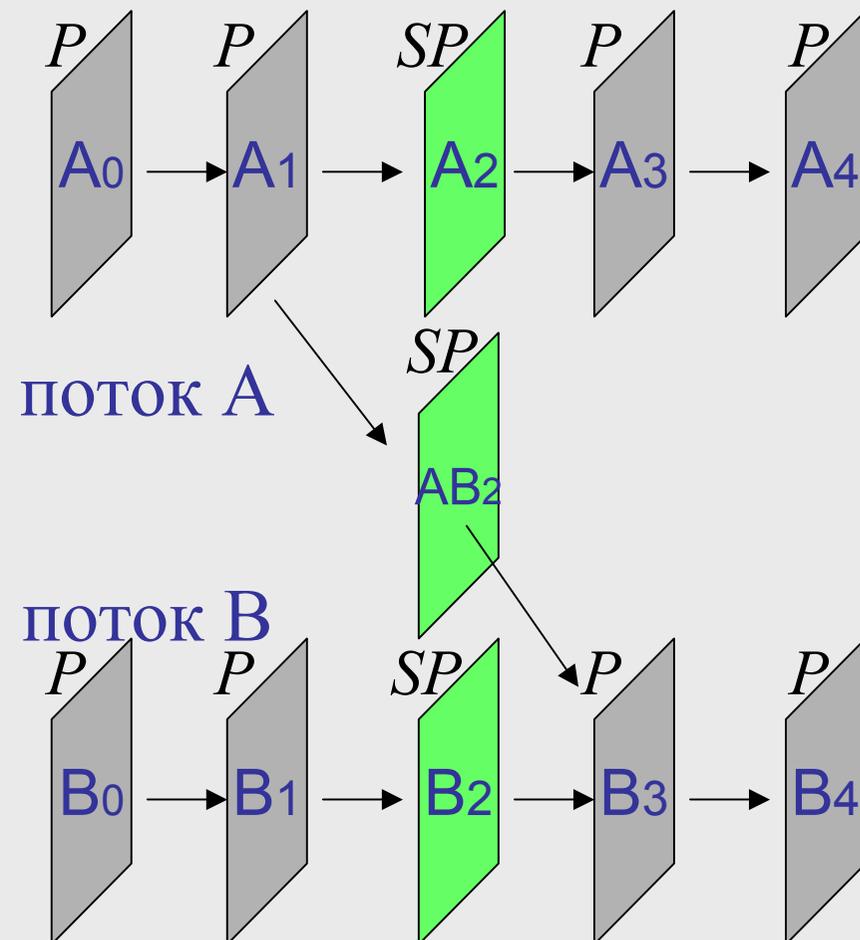


# Компенсация движения / SP- and SI-slices



SP-slices ( $AB_2$  и  $B_2$ )  
используются для  
кодирования одной и той  
же плоскости ( $B_3$ ),  
ссылаясь на два фрейма  
( $A_1$  и  $B_1$ ) из разных  
потоков.  
(аналогично строится  $BA_2$ )

**Из двух SP-slice  
получаются одни и те  
же данные.**



# Компенсация движения / SP- and SI-slices



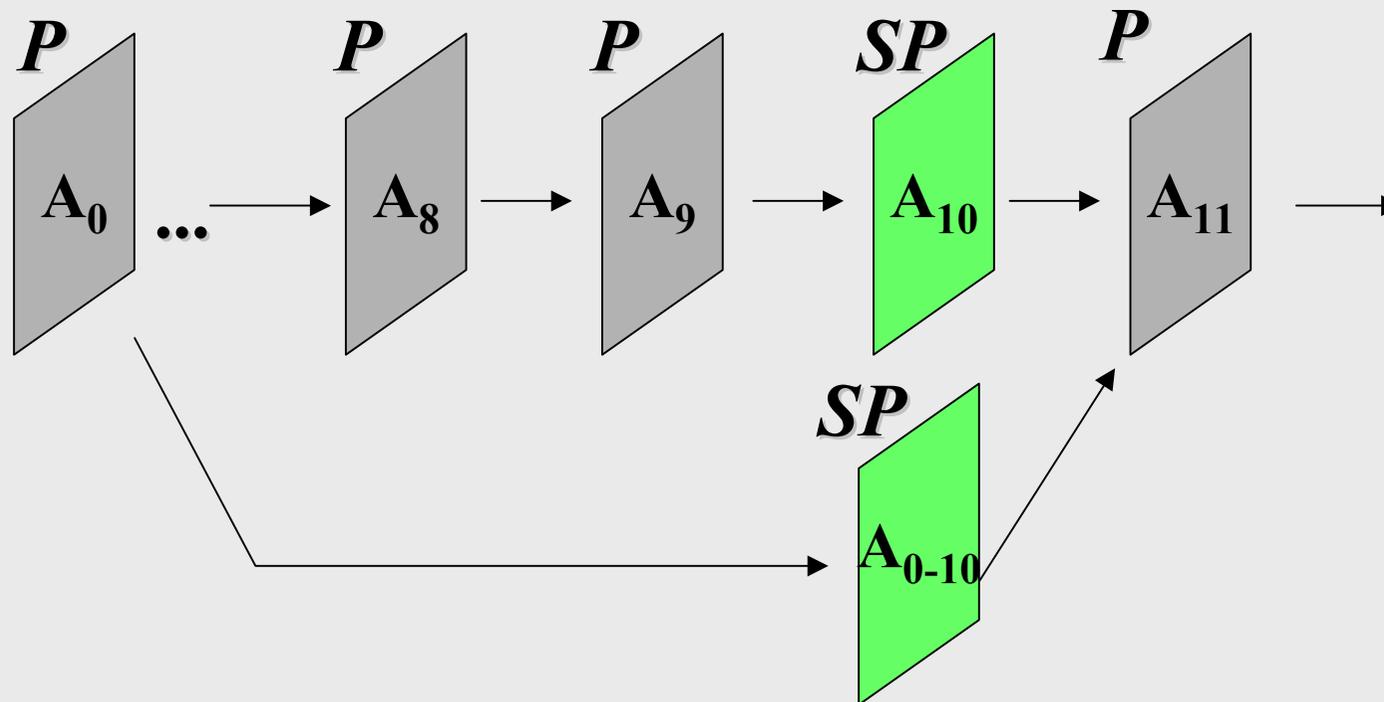
## Устойчивость к ошибкам за счет использования SP/SI slices:

- ◆ Кодировщик кодирует SP-slices регулярными интервалами. Для каждой SP-slice имеется еще по крайней мере одна SP-slice, которая использует другой ссылочный фрейм или SI-slice.
- ◆ Если во время передачи фрейм поврежден, получатель может информировать передатчик через обратную связь, и передатчик пошлет SP-slice, использующую другой ссылочный фрейм или SI-slice.

# Компенсация движения / SP and SI slices



**fast forward** (основная идея:  $A_{11}$  полностью одинаков после  $A_{0-10}$  и после  $A_{10}$ )



# Компенсация движения / Интерполирование

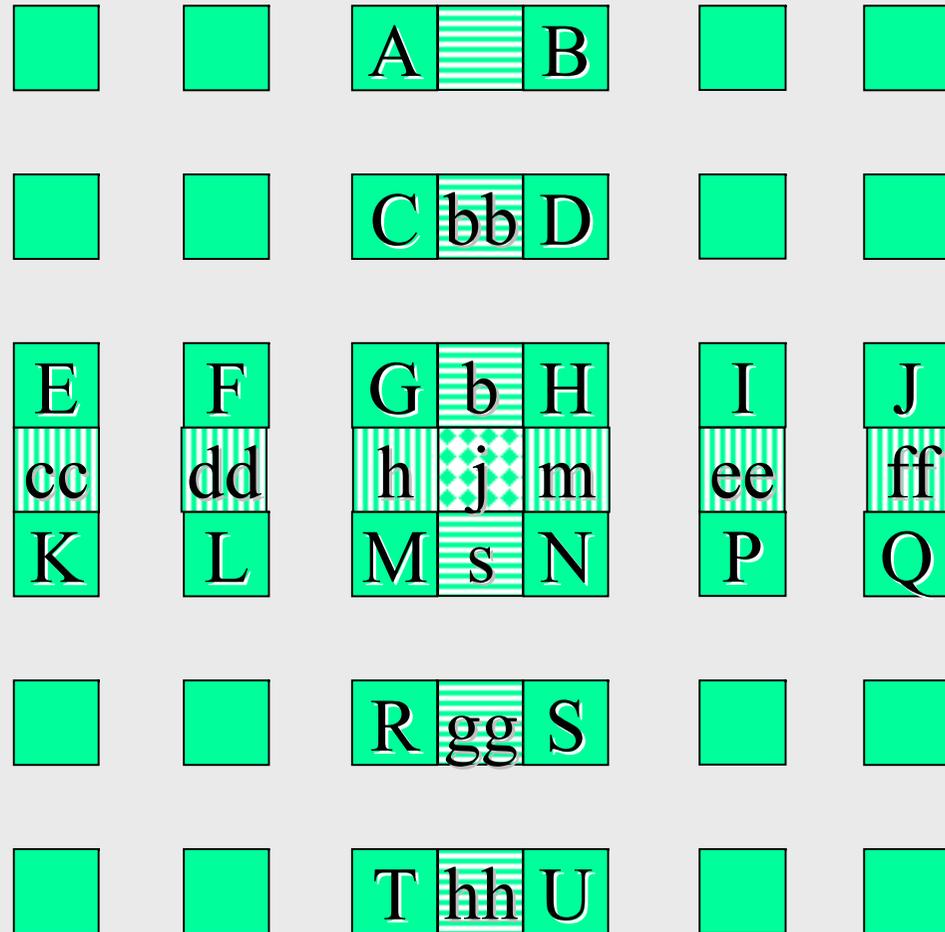


Увеличение  
макроблока возможно  
в 2 и 4 раза.

Используется FIR  
(Finite Impulse  
Response)

$$b = \text{round}((E - 5F + 20G + 20H - 5I + J) / 32)$$

$$j = \text{round}((h + m) / 2)$$

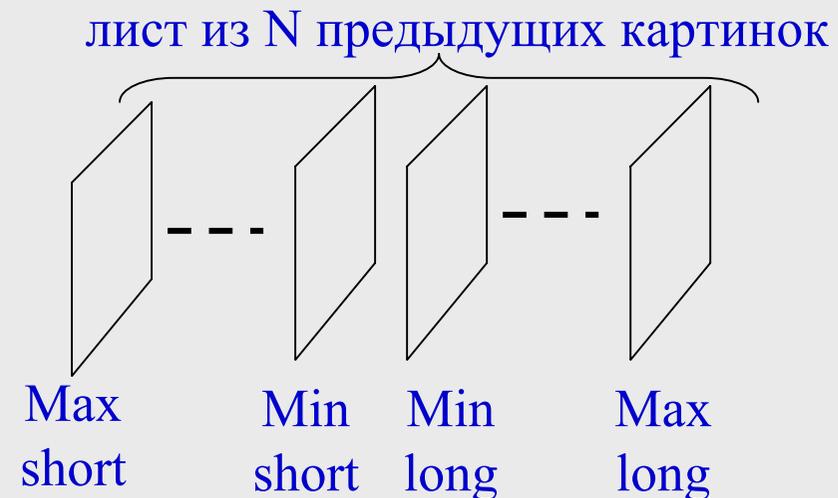


# Компенсация движения / short и long terms



После того, как фрейм закодирован (декодирован), шифратор (дешифратор) может присвоить ему один из следующих статусов:

- a) *недоступен для использования*
- b) *short term*
- c) *long term*
- d) *готов к выводу на экран*



*short term* —————→ *long term*  
Adaptive memory control command

*long term* —————→ *недоступен для использования*

# Компенсация движения / список0 и список1

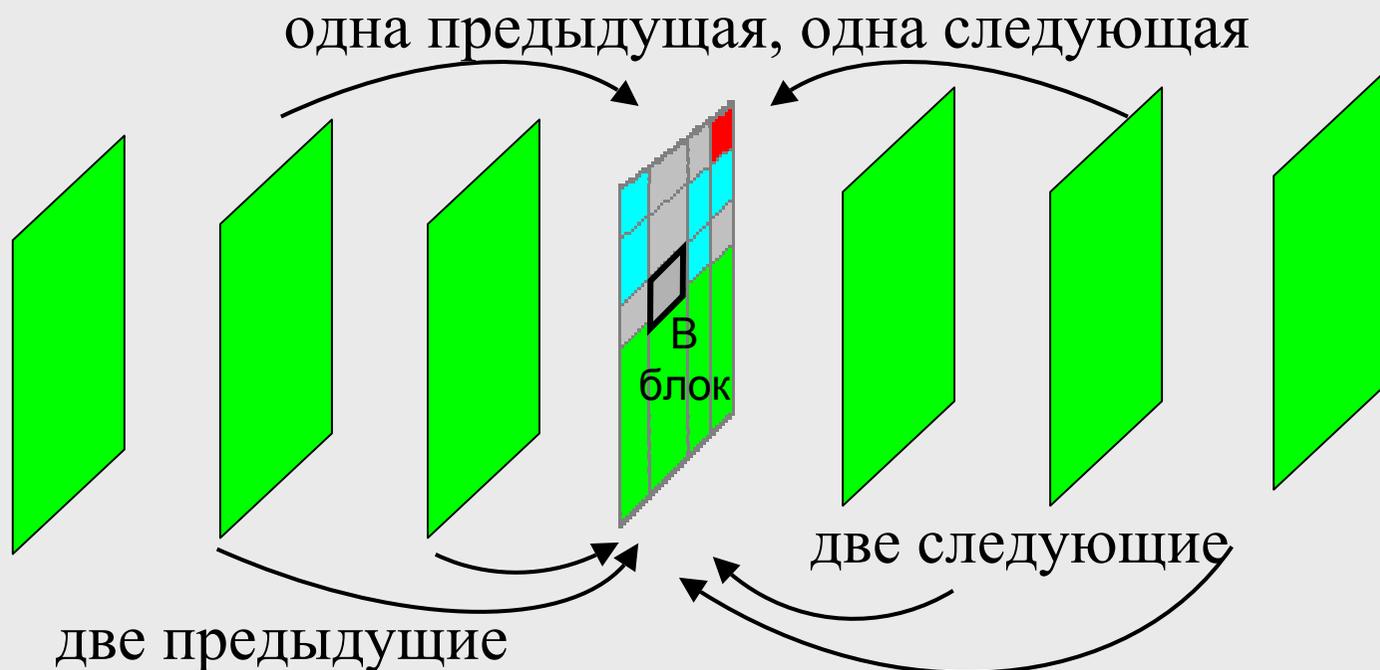


long и short terms выстраиваются в два списка:  
**список 0** - фреймы с номерами меньше текущего по убыванию, затем - больше текущего, по возрастанию  
**список 1** - фреймы с номерами больше текущего, по возрастанию, затем - меньше текущего по убыванию

Пример: имеются terms  
123,125,126,128,129,130  
текущий фрейм – номер 127

индекс	список0	список1
0	126	128
1	125	129
2	123	130
3	128	126
4	129	125
5	130	123

# Компенсация движения / B-slice



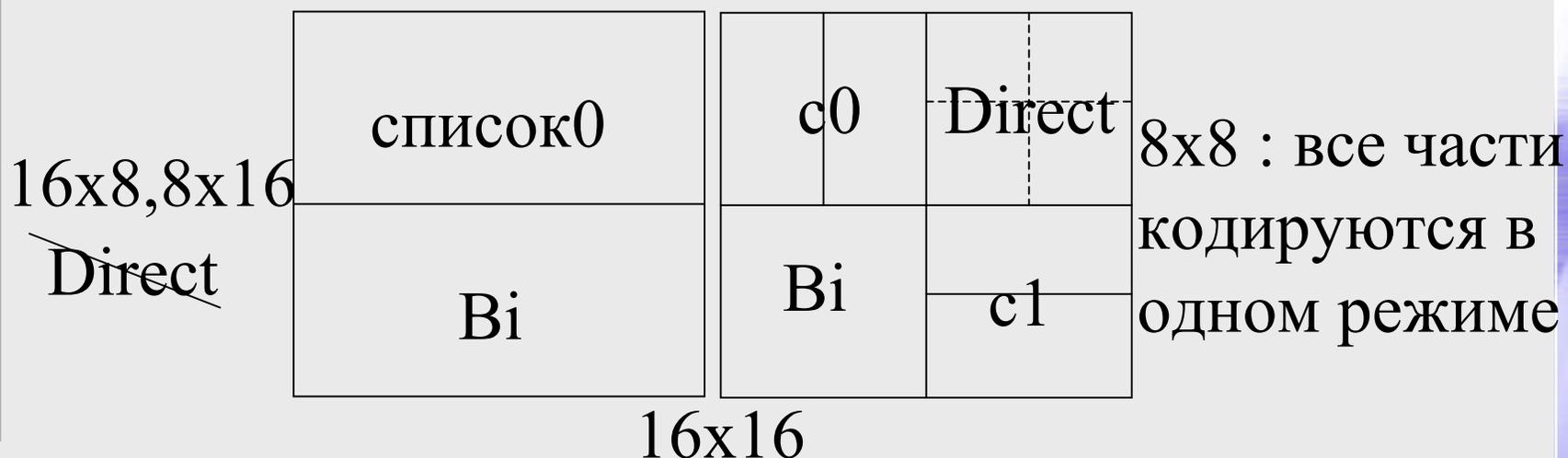
Каждое разбиение inter-кодированного макроблока в B-slice может быть предсказано одной или двумя ссылающимися кадрами, до или после текущего кадра

# Компенсация движения / B-slice

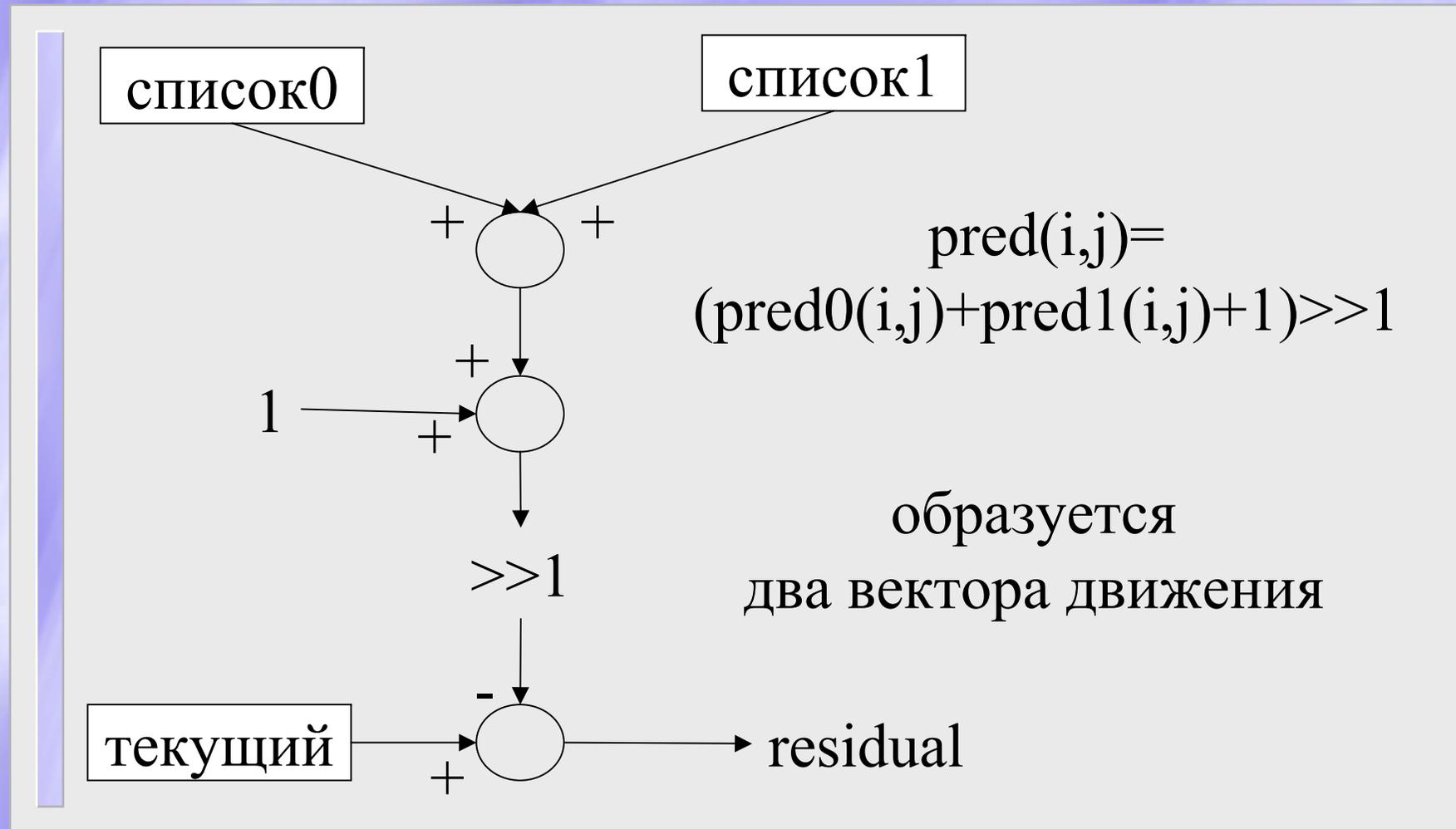


каждый (макро)блок в B-slice предсказан:

- в режиме Direct
- компенсация движения из списка0
- компенсация движения из списка1
- $B_i$ -предсказание из списка0 и списка1



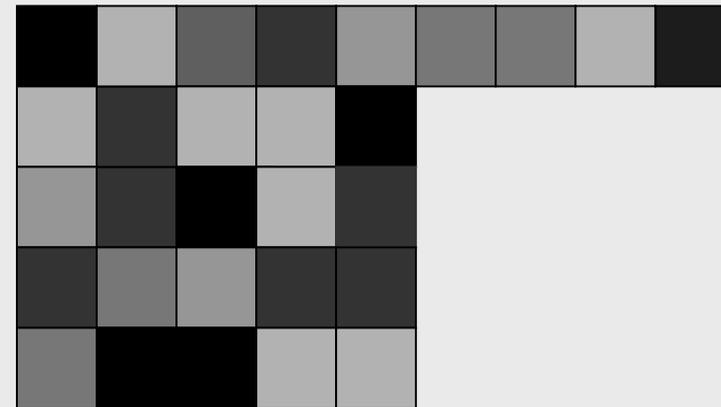
# Компенсация движения / Vi-предсказание



# Компенсация движения / intra-предсказание

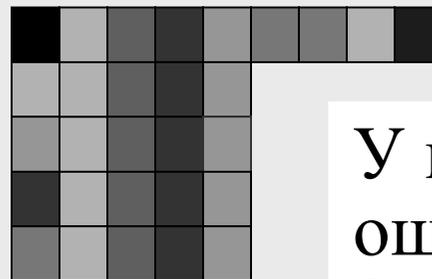


M	A	B	C	D	E	F	G	H
I	a	b	c	d				
J	e	f	g	h				
K	i	j	k	l				
L	m	n	o	p				



9 режимов предсказания для Y 4x4,  
4 для Y 16x16, 4 для Cr(Cb) 8x8

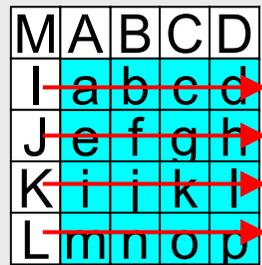
M	A	B	C	D	E	F	G	H
I	a	b	c	d				
J	e	f	g	h				
K	i	j	k	l				
L	m	n	o	p				



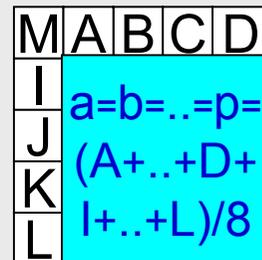
режим 0 (вертикальный)

У всех режимов разная  
ошибка предсказания  
Sum of Absolute  
Errors(SAE)

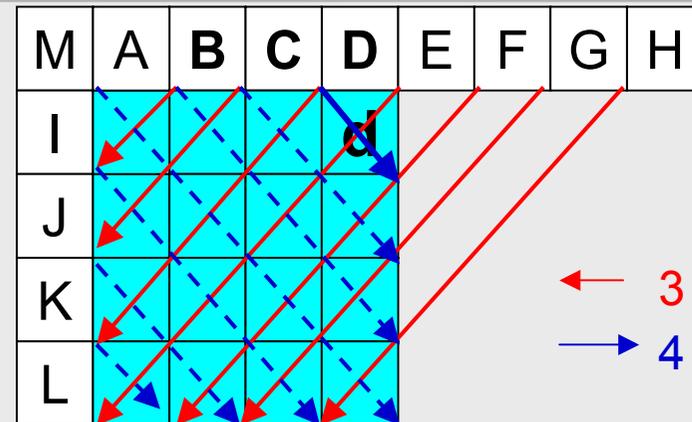
# Компенсация движения / intra-предсказание



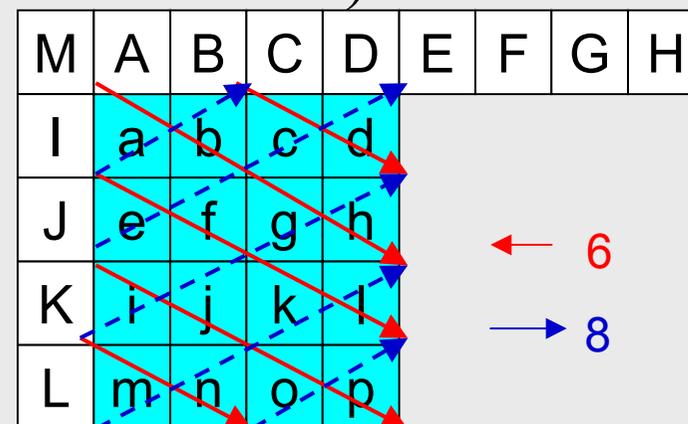
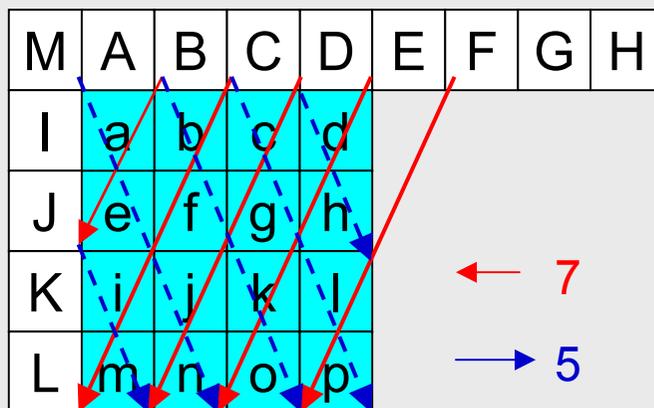
режим 1



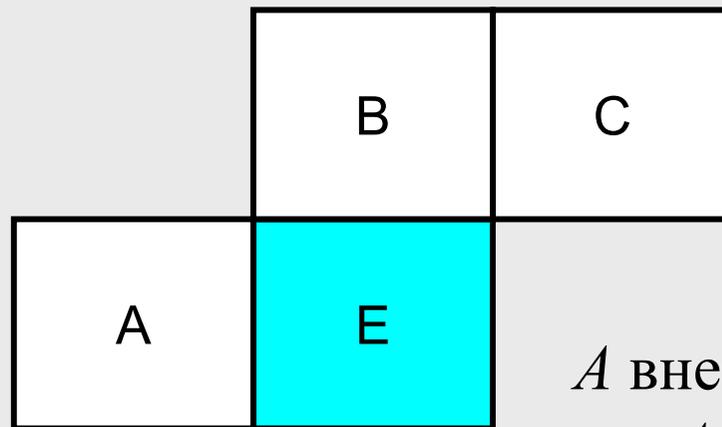
режим 2(DC)



в режимах 3-8 используется *weighted average* :  
в режиме 4:  $d=(B/8+C/2+D/8)$



# Компенсация движения / intra-предсказание



$mE = \min(\text{mode}A, \text{mode}B)$  - наиболее вероятный режим блока E

A вне плоскости  $\rightarrow mE = \min(2, \text{mode}B)$   
A не *intra*

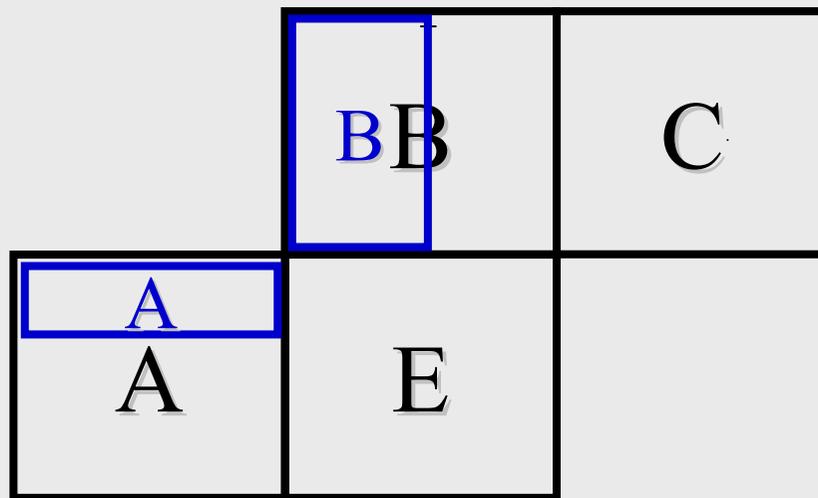
кодировщик(декодер) посылает для каждого блока 4x4 2 флага:  
**prev\_intra\_4x4\_pred\_mode** и **rem\_intra\_4x4\_pred\_mode**

$$\text{mode}E = \begin{cases} mE, & \text{если } \text{prev}=0 \\ \text{rem}, & \text{если } \text{prev}=1, \text{ rem} < mE \\ \text{rem}+1, & \text{если } \text{pred}=1, \text{ rem} \geq mE \end{cases}$$

# Компенсация движения / Предсказание ВД



Кодируется не сам вектор движения, а разница между ним и другим вектором движения



Для ВД блоков макроблока E предсказаниями являются ВД из блоков:

- 1) E=2 блока 16x8  $B/A$
- 2) E=2 блока 8x16  $A/C$
- 3) в остальных случаях – среднее из  $A, B$  и  $C$

- A, B, E – одинакового размера
- A, B, E – разного размера

# Преобразование



$$a = \frac{1}{2} \quad b = \sqrt{\frac{1}{2}} \cos \left( \frac{\pi}{8} \right)$$

$$Y = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{pmatrix}}_{C_f} \begin{pmatrix} X \end{pmatrix} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 1 & -1 \end{pmatrix}}_{C_f^T} \otimes \underbrace{\begin{pmatrix} a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \\ a^2 & \frac{ab}{2} & a^2 & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} & \frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \end{pmatrix}}_{E_f}$$

Матрица  $CXC^T$  – основа 2D трансформации  
E- матрица динамических векторов

# Квантование



коэффициенты  
квантования

$$Z_{ij} = \text{round} \left( \frac{Y_{ij}}{Q_{step}} \right)$$

$Q_{step}$  - определяется параметром квантования  $QP$

<b>QP</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>...</b>	<b>18</b>	<b>...</b>	<b>24</b>	<b>...</b>	<b>30</b>	<b>...</b>	<b>51</b>
<b>Qstep</b>	<b>0.</b> <b>625</b>	<b>0.</b> <b>6875</b>	<b>0.</b> <b>825</b>	<b>0.</b> <b>8125</b>	<b>1</b>	<b>1.</b> <b>125</b>		<b>5</b>		<b>10</b>		<b>20</b>	<b>...</b>	<b>224</b>

# Фильтрация (деблокинг)



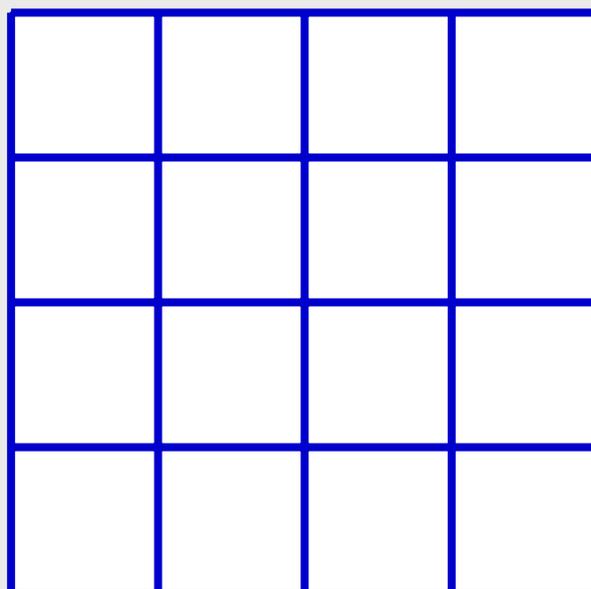
Фильтрация применяется на границах блоков  
(за исключением границ плоскости)

При условии, что

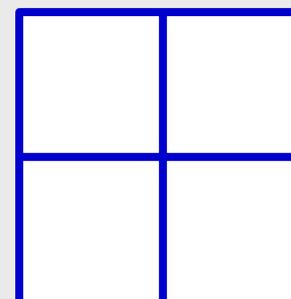
a)  $bs > 0$

b)  $|p_0 - q_0| < \alpha$     $|q_1 - q_0| < \beta$

$|p_1 - p_0| < \beta$

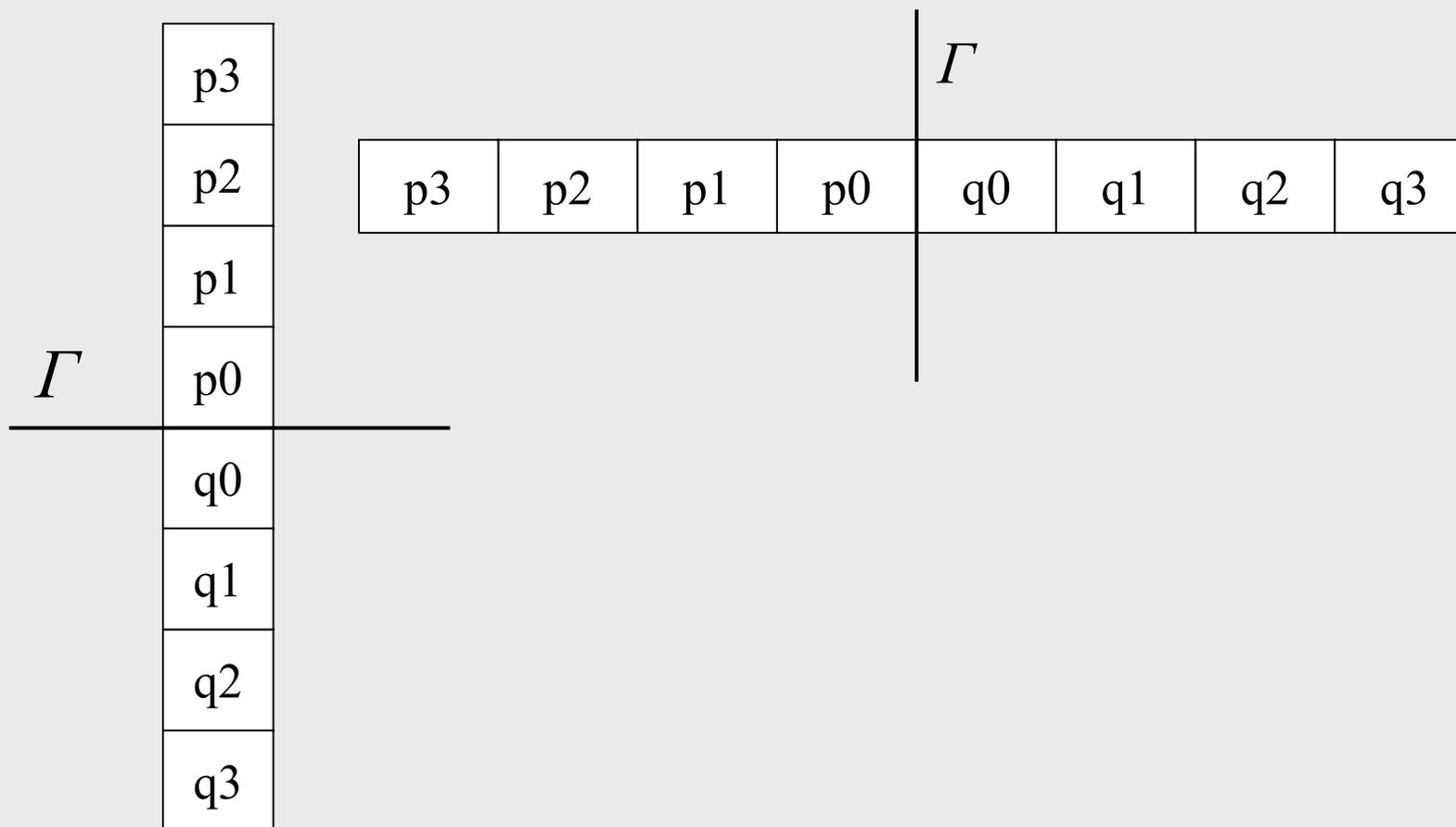


Y 16x16



Cr 8x8

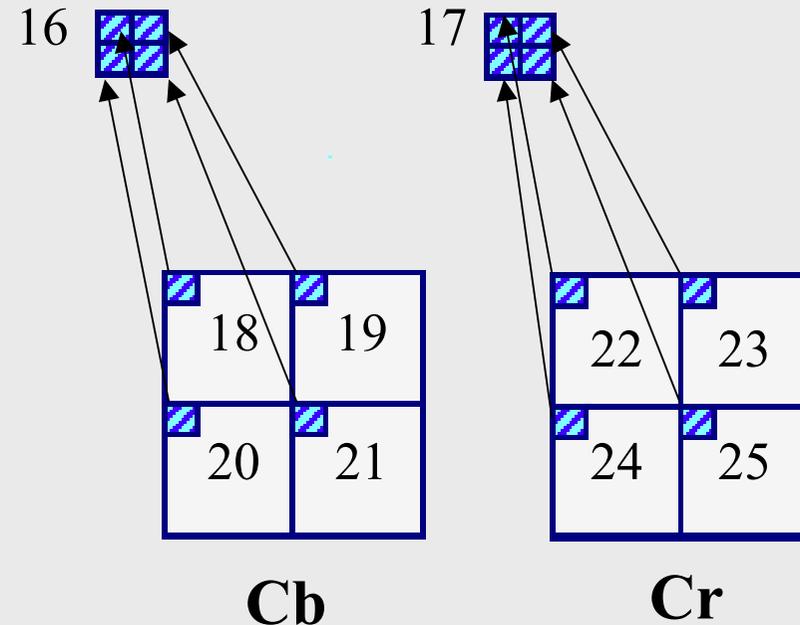
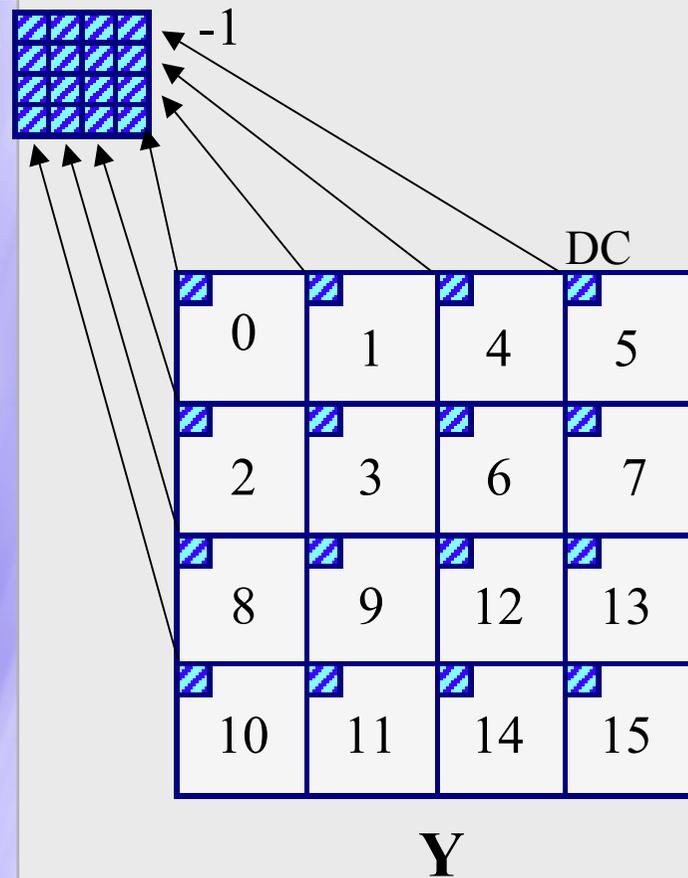
# Фильтрация (деблокинг)



# Фильтрация (деблокинг)

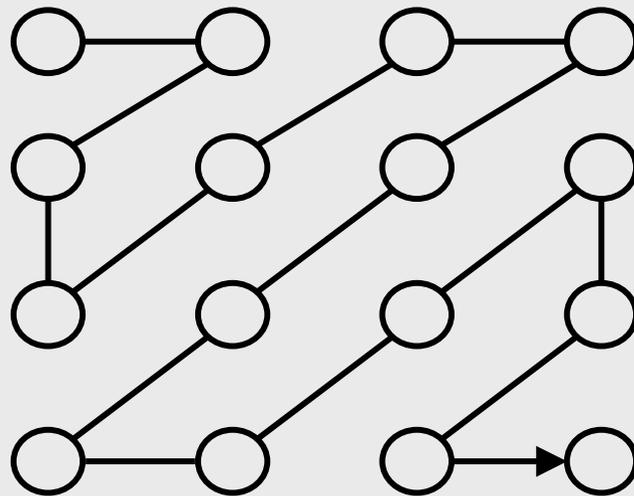


# Перестановка/Порядок считывания макроблока

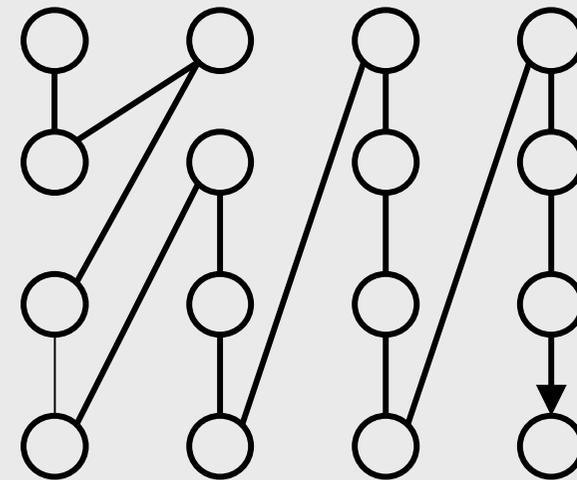


**Блок -1 из коэффициентов DC  
образуется только в  
16x16 Intra-кодируемых блоках**

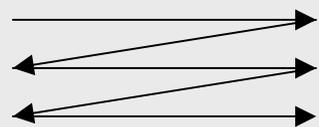
# Перестановка



intra 4x4 для *progressive video*

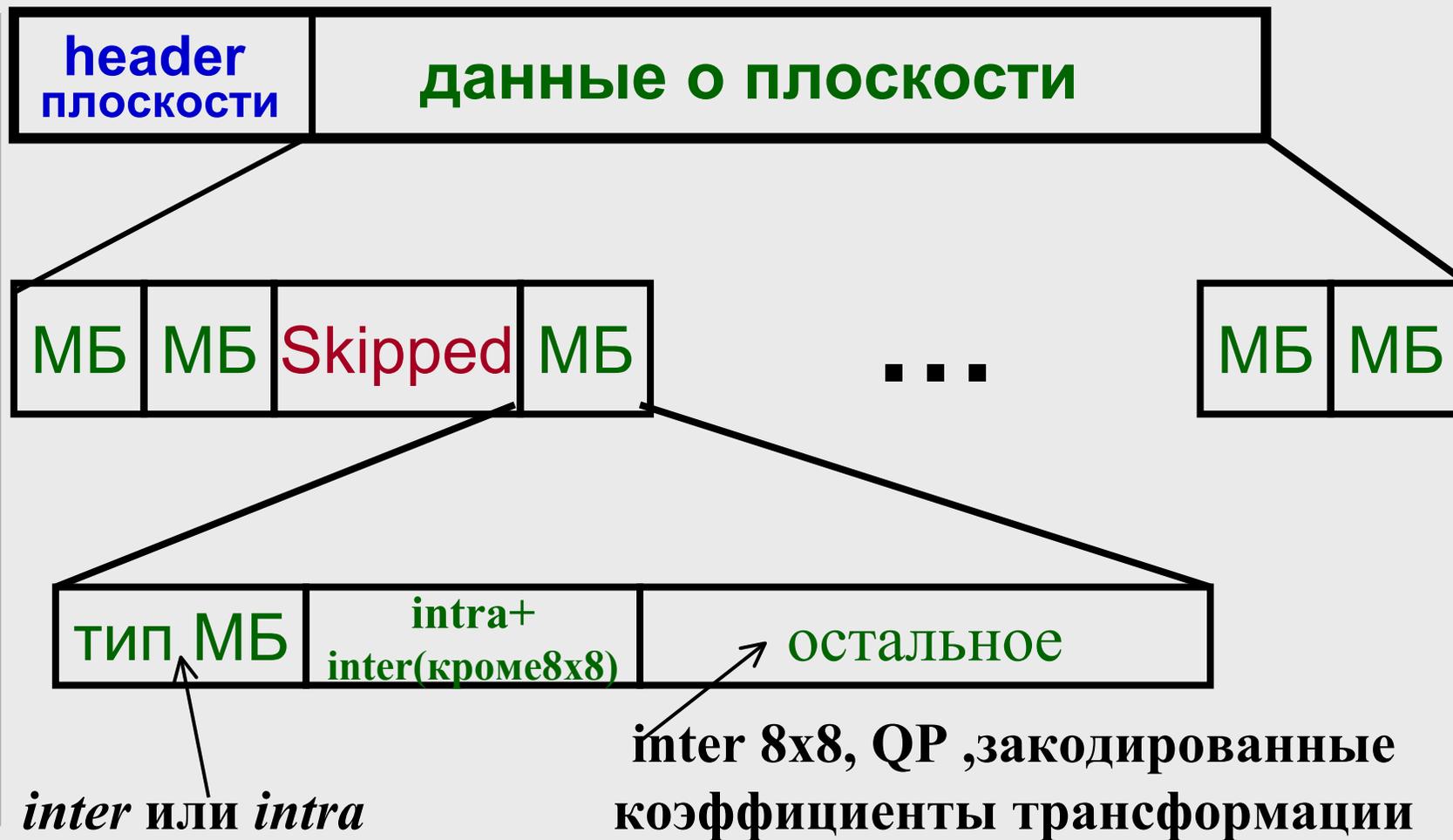


intra 4x4 для *interlaced video*



порядок обхода макроблоков в плоскости

# Entropy Coding / Кодирование плоскости



# Entropy Coding



Кодируются следующие данные:

наименование	назначение
mb_type	тип макроблока
Coded_block _pattern	показывает какие блоки внутри макроблока содержат закодированные коэффициенты
QP	параметр квантования, кодируются как разность с предыдущим
Refer_frame_index	номера фреймов для предсказания
Residual	разница между блоком и его предсказанием
MV	вектор движения

# Entropy Coding



entropy\_coding\_mode:

0:                    все данные – CABAC  
(Context-based Adaptive Binary  
Arithmetic Coding)

---

1:                    Residual – CALVC  
(Context Adaptive Variable Length Coding)  
остальное - Exp-Colomb

# Entropy Coding / CALVC



После компенсации движения, преобразования и квантования, блок обычно состоит из большого числа нулей

0	3	-1	0
0	-1	1	0
1	0	0	0
0	0	0	0

Блок считывается  
в зигзаг порядке  
(см. Перестановка)

0,3,0,1,-1,-1,0,1,0...0

# Entropy Coding / CALVC



Кодируются следующие величины:

название	Что означает	Доп. знач.	при- мер
Coeff_tok en	Число ненулевых коэффициентов	0..16	5
Trailing_ones	Число 1 и -1 (если их больше, то остальные кодируются обычным способом)	0..3	3
Trailing_ones_sign_flag	Знаки при коэф. 1 и -1, кодируются как trailing_ones, начиная с конца последовательности	0 (+) 1 (-)	0,1,1

# Entropy Coding / CALVC



Далее кодируются:

**оставшиеся коэффициенты**

1 - level(1) (тоже в обратном порядке)

3 - level(0)

**total\_zeros** – число нулей до последнего ненулевого  
коэффициента (3)

**run\_before**

не кодируется  $\underbrace{0, 3, 0, 1, -1, -1, 0, 1, 0 \dots 0}$   
1 0 0 1

# Entropy Coding / Exp-Colomb



параметр  $\longrightarrow$  code\_num  $\longrightarrow$  codeword

зависит от частоты  
встречаемости параметра

codeword = [M нулей][1][INFO]

где

$$M = \lfloor \log_2(\text{code\_num} + 1) \rfloor$$

$$\text{INFO} = \text{code\_num} + 1 - 2^M$$

code_num	codeword
0	1
1	010
2	011
3	00100
4	00101
5	00110
6	00111
7	0001000
8	0001001
...	....

# Entropy Coding / CABAC



## CABAC (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding):

- ◆ Выбор вероятностной модели для каждого синтаксического элемента в соответствии с его контекстом
- ◆ Адаптация оценок вероятности на основании локальной статистики
- ◆ Использование арифметического кодирования предпочтительнее VLC

# Entropy Coding / CABAC



Кодирование данных *value* проходит стадии:

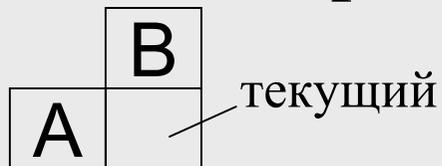
## I. Бинаризация

$ value $	Бинаризация
0	0
1	10s
2	110s
3	1110s
.....	.....
8	11111110s
$>8$	Exp-Colomb

# Entropy Coding / CABAC



## II. Выбор контекстной модели



$$e_k = |\text{value}_A| + |\text{value}_B|$$

bin	Контекстная модель
1	$0 \leq e_k < 3$ - 0; $3 \leq e_k < 33$ -1 ; $33 \leq e_k$ -2
2	3
3	4
4	5
5 и более	6

где bin1 – первый бит *value*, bin2- второй и т.д.

# Entropy Coding / CABAC



**III. Арифметическое кодирование каждого бина**  
(используются две вероятности  $p[\text{bin}='0']$   $p[\text{bin}='1']$ )

## **IV. Обновление модели**

Пример. Выбрана `model2` и `bin='0'`

```
model2_0_count++;  
if (model2_0_count > threshold) {  
    model2_0_count = 0;  
    model2_1_count = 0;  
}
```

# NAL



## Network Abstraction Layer - Сетевой Абстрактный Уровень

Форматирует видео после Entropy Encoding и добавляет к данным заголовок нужного типа, чтобы в дальнейшем передать информацию по любому из всего разнообразия транспортных уровней или носителей данных



# NAL

